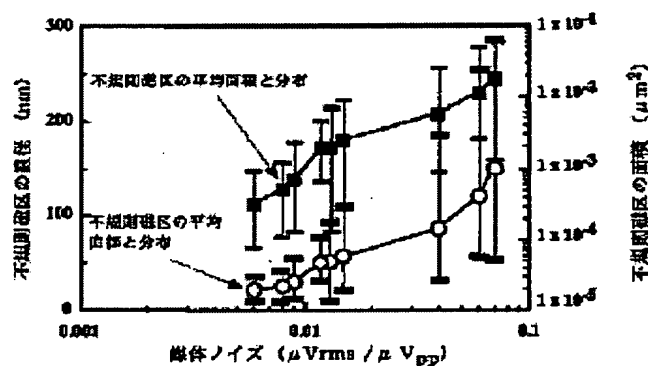


VERTICAL MAGNETIC RECORDING MEDIUM AND MAGNETIC STORAGE DEVIC

Patent number: JP11250435
Publication date: 1999-09-17
Inventor: HONDA YUKIO; HIRAYAMA YOSHIYUKI; ITOU KIYONARI; FUTAMOTO MASAOKI
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
- international: G11B5/66
- european:
Application number: JP19980049505 19980302
Priority number(s):

Abstract of JP11250435

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a vertical magnetic recording medium capable of reducing irregular magnetic domains, having an excellent low noise characteristic and stability in magnetization of a record and suited to ultra-high density magnetic recording.
SOLUTION: A magnetic film consisting of crystal grains having high magnetic anisotropy is formed by controlling the vertical magnetic anisotropy or crystal orientation of a vertically magnetized film, the easy magnetization axes of magnetic crystal grains are orientated in the vertical direction of a substrate surface, the dispersion of magnetic anisotropy is especially reduced, and magnetic domains of irregular structure which may be formed on the surface of a medium at the time of magnetic recording are reduced or the structure of each magnetic domain is made minute. In a vertically magnetized recording state or a remaining magnetized state magnetized to one direction which is almost vertical to a film surface, the average area of each irregular magnetic domain is $\leq 7.1 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-250435

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51) IntCl⁴
G11B 5/66

識別記号

F I
G11B 5/66

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-49505
(22) 出願日 平成10年(1998) 3月2日

(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72) 発明者 本多 幸雄
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72) 発明者 平山 義幸
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72) 発明者 伊藤 研也
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74) 代理人 弁理士 平木 祐輔

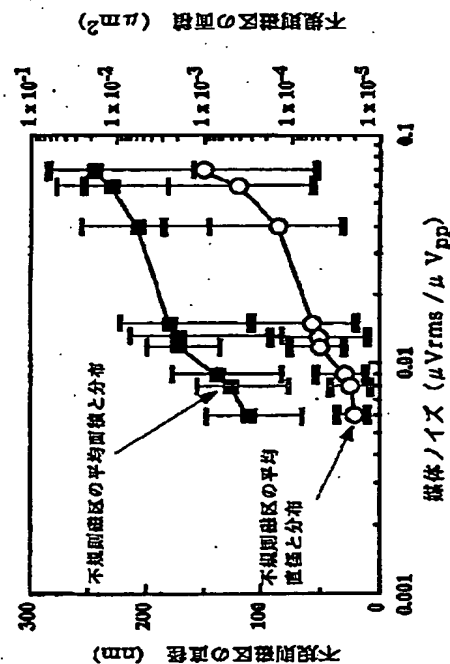
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直磁気記録媒体及び磁気記憶装置

(57) 【要約】

【課題】 不規則磁区を低減し、優れた低ノイズ特性と記録磁化の安定性を有する超高密度磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体及び磁気記憶装置を提供する。

【解決手段】 垂直磁化膜の垂直磁気異方性や結晶配向を制御することによって、磁気異方性の大きな結晶粒からなる磁性膜を形成し、磁性結晶粒の磁化容易軸を基板面に垂直方向に高配向させると共に特に磁気異方性の分散を小さくし、磁気記録したとき媒体表面に形成される不規則構造の磁区の低減、もしくは磁区構造の微細化を図り、垂直磁気記録状態もしくは膜面にほぼ垂直方向に一方に磁化された残留磁化状態において不規則磁区の平均の面積を $7.1 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$ 以下とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成した磁性薄膜の磁化容易軸が基板面に略垂直方向に配向した垂直磁気記録媒体において、

垂直磁気記録状態もしくは膜面にほぼ垂直方向に一方に磁化された残留磁化状態において不規則磁区の平均の面積が $7.1 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項2】 請求項1に記載の垂直磁気記録媒体において、前記平均の面積から $\pm 45\%$ の範囲に含まれる前記不規則磁区の面積が $7.8 \times 10^{-4} \sim 2.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項3】 請求項1又は2に記載の垂直磁気記録媒体において、前記不規則磁区を該不規則磁区と同じ面積を有する円に換算して得られる磁区の平均直径が30nm以下であり、前記磁区の直径の分布範囲が10～60nmであることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項4】 請求項1、2又は3に記載の垂直磁気記録媒体において、膜面にほぼ垂直方向に磁化された残留磁化状態もしくは磁気ヘッドにより直流消磁された状態で単位表面積に形成される前記不規則磁区の面積割合が10%以下であることを特徴とする垂直磁気記録媒体。

【請求項5】 垂直磁気記録媒体と、前記垂直磁気記録媒体を保持するための保持具と、前記垂直磁気記録媒体に対して情報を記録再生するための磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドと前記垂直磁気記録媒体の相対位置を移動するための移動手段とを備える磁気記憶装置において、前記垂直磁気記録媒体として請求項1～4のいずれか1項記載の垂直磁気記録媒体を用いたことを特徴とする磁気記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、再生ノイズが小さく、記録磁化の安定性に優れた、高密度磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体及び磁気記憶装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、実用的に用いられている磁気記録方式は、磁気記録媒体面に平行に、かつ磁極のN極とN極、S極とS極を互いに突き合わせる方向に磁化して磁気記録を行う面内磁気記録方式である。面内磁気記録において線記録密度を向上するには、記録時の反磁界の影響を減少するために記録媒体である磁性膜の残留磁化(B_r)と磁性膜厚(t)の積を小さくし、保磁力を増大する必要がある。また磁化遷移から発生する媒体ノイズを減少するために、磁性膜の磁化容易軸を基板面に平行に配向させると共に、結晶粒径の制御が必要である。磁性薄膜の結晶配向性や粒径を制御するために、基板と磁性膜の間に構造制御用の下地層を形成する。

【0003】 面内磁気記録方式の磁性膜としては、Coを主成分とし、これにCr、Ta、Pt、Rh、Pd、

Ti、Ni、Nb、Hfなどを添加したCo合金薄膜が用いられる。磁性薄膜を構成するCo合金は、主として六方稠密格子構造(以下、hcp構造という)の材料を用いる。この結晶のc軸は<00.1>方向に磁化容易軸を持ち、この磁化容易軸を面内方向に配向させる。磁性薄膜の結晶配向性や粒径を制御するために、基板と磁性膜の間に構造制御用の下地層を形成する。下地層としては、Crを主成分とし、これにTi、Mo、V、W、Pt、Pdなどを添加した材料を用いる。磁性薄膜は真空蒸着法やスパッタリング法により形成する。

【0004】 前記したように、面内磁気記録において媒体ノイズを小さくし、線記録密度を向上するには、磁性膜の残留磁化(B_r)と磁性膜厚(t)の積を小さくする必要があり、このために磁性膜の膜厚を20nm以下まで薄くし、結晶粒を微細化することが検討されている。しかし、このような磁性結晶粒を微細化した媒体では、熱揺らぎにより記録磁化が減少する極めて重大な問題があり、高密度記録の障害となっている。

【0005】 一方、垂直磁気記録方式は、記録媒体面に垂直に、かつ隣り合う記録ビットが互いに反平行に磁区を形成して記録する方式であり、記録ビットの境界での反磁界が小さくなり、高密度記録になるほど磁化が安定に保たれ易い利点があり、高密度磁気記録の有力な手段の一つである。

【0006】 面内記録による高密度記録のためには、前記したように磁性膜の厚さを20nm以下にする必要がある。この場合、熱的な揺らぎにより記録磁化が消失する問題がある。これに対して垂直記録では、面内記録に比べて磁性膜厚を厚くでき、記録磁化を安定に保持できる利点がある。垂直記録により線記録密度を向上するためには、記録ビット内部及び磁化遷移に形成される不規則構造の磁区から発生する媒体ノイズを減少することが必要である。このためには、磁性膜の磁化容易軸を基板面に垂直に配向させると共に、磁化容易軸の配向分散を小さくし、結晶粒径の制御が必要である。

【0007】 垂直磁気記録方式の磁性膜としては、Coを主成分とし、これにCr、Ta、Pt、Rh、Pd、Ti、Ni、Nb、Hfなどを添加したCo合金薄膜が用いられる。磁性薄膜を構成するCo合金は、主としてhcp構造の材料を用いる。Co合金薄膜は、この結晶のc軸、<00.1>方向に磁化容易軸を持ち、この磁化容易軸を垂直方向に配向させる。磁性薄膜は真空蒸着法やスパッタリング法により形成する。磁気記録したときの線記録密度や再生出力を向上し、再生ノイズを減少させて磁気記録特性を向上するためには、上記のCo合金薄膜のc軸の垂直配向性を向上すると共に、結晶粒径の制御が必要であり、このために基板と磁性膜の間に構造制御用の下地層を形成するなどの改善策が従来から行われている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】垂直磁気記録方式で数 Gb/in^2 以上、特に 10Gb/in^2 以上の超高密度磁気記録を実現するには、線記録密度の向上の他に再生信号に含まれるノイズ、特に媒体の微細構造に起因する媒体ノイズの低減が重要である。このためには、磁性薄膜の結晶配向に加えて、より高度な薄膜構造の制御が必要である。媒体ノイズの低減のために、例えば、Journal of The Magnetic Society of Japan Vol.21, Supplement, No.52(1997) "Proceeding of The Fourth Perpendicular Magnetic Recording Conference '97" に記述されたように、従来様々の改良が試みられている。例えば、(1) 磁性粒子間の磁気的相互作用を小さくするために CoCr 系合金中の非磁性 Cr を結晶粒界や粒内に偏析させる方法、(2) スパッタリングガス圧力を制御することにより磁性粒子を形態的に孤立させる方法などである。このような媒体構造の改良により媒体ノイズの低減が促進されたが、垂直磁気記録における媒体ノイズの起源であるところの、磁化方向と逆向きに形成される逆磁区、あるいは磁化方向に対して傾斜した磁区及びこれに伴う不規則磁区を低減する効果は十分に得られていない。本発明の目的は、上述した従来技術の欠点を解消し、優れた低ノイズ特性と記録磁化の安定性を有し、超高密度磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体及び磁気記憶装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】不規則磁区と再生信号との関係について説明する。図6は、垂直磁気記録した媒体の磁化状態を示す断面模式図、及びそれを磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)で再生した再生信号波形の模式図である。図6(a)は理想的な垂直磁気記録が行われた場合、図6(b)は記録媒体に不規則磁区が形成された場合を表す。

【0010】図6(a)に示すように理想的な垂直磁気記録が行われたとき、記録磁区の境界部(磁化遷移領域)32では、隣り合う磁区が互いに反磁界を打ち消すように作用するため、大きな磁化33が形成される。一方、磁区の内部では反磁界の影響により磁化33は小さくなる。垂直磁気記録では、高密度になるほど隣接記録ビットが接近し、隣接記録ビット間で反磁界を打ち消すように作用するため、磁化が安定になる。このように理想的な垂直磁気記録が行われた場合には同一記録磁区内部の磁化33は同じ向きに形成されており、従って再生信号波形31にもノイズのない信号を得ることができる。しかし現実的には、図6(b)の再生信号波形31に示したように媒体から発生するノイズのために再生信号が乱れている。垂直磁気記録における媒体ノイズの原因は、記録磁区の境界(磁化遷移)32の揺らぎによるものと、記録磁区内部に形成される不規則磁区によるものがある。磁化遷移の揺らぎも不規則磁区の形成が関係している。媒体ノイズの原因となる不規則磁区には、図

6(b)に示したように、媒体に作用する反磁界の影響により平均の磁化の向きに対して逆向きの磁化をもつ逆磁区37の形成によるものと、磁化の向きは同じであるがミクロな磁化の向きが傾斜した磁化38を有する領域の形成によるものがある。このいずれもが媒体表面で検出される再生信号の振幅変動の原因となり、これが総称してノイズと言われている。

【0011】本発明においては、基板上に形成する垂直磁化膜の垂直磁気異方性や結晶配向を制御することによって、基板上に磁気異方性の大きな結晶粒からなる磁性膜を形成し、磁性結晶粒の磁化容易軸を基板面に垂直方向に高配向させると共に特に磁気異方性の分散を小さくし、磁気記録したとき媒体表面に形成される不規則構造の磁区の低減、もしくは磁区構造の微細化を図ることにより前記目的を達成する。

【0012】すなわち、本発明による垂直磁気記録媒体は、基板上に形成した磁性薄膜の磁化容易軸が基板面に略垂直方向に配向した垂直磁気記録媒体において、垂直磁気記録状態もしくは膜面にほぼ垂直方向に一方に磁化された残留磁化状態において不規則磁区の平均の面積が $7.1 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする。

【0013】なお、本明細書において、不規則磁区とは、所定の磁化領域における磁化の向きに対して逆向き、もしくは所定の磁化の向きに対して傾斜した向きの磁化を有する領域をいう。例えば、磁性探針と磁性試料間の磁気力勾配を検出する磁気力顕微鏡を用いる場合、前記不規則磁区は明暗のコントラストとして観察される。逆磁区などの領域では、大きな磁気力勾配を発生し強いコントラストとして観察され、一方、磁化の向きが反平行で、かつ磁化の向きが少なくとも5度以上傾斜した領域では前者より弱いコントラストとして観察される。また、磁化の向きが同じで、かつ磁化の向きが少なくとも5度以上傾斜した領域では、磁気力勾配像のコントラストが強くなる。磁気力顕微鏡観察に際して、探針試料間の平均距離を50~20nmとし、観察された不規則磁区の強度プロファイルの50%に閾値を設定し、この時の大きさを不規則磁区のサイズを定義した。また、スピン偏極走査電子顕微鏡を用いる場合、上向きあるいは下向きのスピンの向きで明暗のコントラスト像が得られ、傾斜した磁区領域は中間的なコントラスト(灰色)として観察される。この場合、スピンの検出角度を変えることにより2~90度の範囲で磁化の傾きを検出できる。

【0014】また、不規則磁区の平均の面積とは、不規則磁区の面積を小さな方から大きな方に向かって順次積算し、全不規則磁区の面積の積算値に対する割合で示した積算強度比が50%の面積をいう。前記平均の面積から $\pm 45\%$ の範囲に含まれる不規則磁区の面積は $7.8 \times 10^{-4} \sim 2.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ であることが好ましい。

【0015】また、不規則磁区をその不規則磁区と同じ面積を有する円に換算して得られる磁区の平均直径が30nm以下であり、前記磁区の直径の分布範囲が10～60nmであることが好ましい。また、膜面にはほぼ垂直方向に磁化された残留磁化状態もしくは磁気ヘッドにより直流消磁された状態で単位表面積に形成される不規則磁区の面積割合が10%以下であることが好ましい。

【0016】本発明による磁気記憶装置は、垂直磁気記録媒体と、垂直磁気記録媒体を保持するための保持具と、垂直磁気記録媒体に対して情報を記録再生するための磁気ヘッドと、磁気ヘッドと垂直磁気記録媒体の相対位置を移動するための移動手段とを備える磁気記憶装置において、垂直磁気記録媒体として本発明による前述の垂直磁気記録媒体を用いたことを特徴とする。

【0017】垂直磁気記録媒体の磁化状態の評価、すなわち垂直磁気記録媒体に形成された不規則磁区の構造の評価は、以下の手段のいずれによっても行うことができる。

①磁気力顕微鏡によって垂直磁気記録媒体表面の漏洩磁界の強度もしくは漏洩磁界の勾配を検出する方法〔例えば、Ruger, et al., "Magnetic force microscopy: General principle and application to longitudinal recording media" J. Appl. Phys., 68(3), pp.1169-1183 (1990)参照〕

【0018】②スピンSEM (spin-polarized scanning electron microscope) によって垂直磁気記録媒体表面のスピンの向きを検出する方法：〔例えば、H. Matsuyama, et al., "High Spatial-Resolution Domain-Observation of Longitudinal Thin Film Media by Spin-Polarized Scanning Electron Microscopy" IEEE Trans. Mag. n., Vol.30, pp.1327-1330 (1994)参照〕

【0019】③垂直磁気記録媒体表面に磁性微粒子を付着せしめて観察する方法（ピッター法）：〔例えば、T. Sakurai, et al., "Magnetic recording pattern of obliquely evaporated Co-O thin films observed by using ultrafine Co particles" J. Appl. Phys., 76, pp. 3177-3180 (1994)参照〕

④偏光顕微鏡によって偏光角の大きさを検出する方法：〔例えば、近角聡信「強磁性体の物理（下）」葦華房、第158-158頁参照〕

【0020】本発明によると、基板上に形成した磁性膜の初期成長層を制御し磁化容易軸を基板面に垂直方向に配向させ、磁性結晶粒の微細化と均一化を図ることにより、媒体ノイズの原因となる記録磁区の磁化遷移の揺らぎ構造が小さく、かつ磁性膜に作用する反磁界による不規則磁区の微細化を促進でき、その結果、媒体ノイズの低減と記録磁化の安定性を確保することができ、高密度の磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体及びこれを用いた磁気記憶装置を実現可能である。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明による磁気記憶装置の一例の主要部を示す模式図である。この磁気記憶装置は、磁気ディスク1、記録再生用の磁気ヘッド2、磁気ヘッドを支持するサスペンション3、アクチュエータ4、ボイスコイルモータ5、記録再生回路6、位置決め回路7、インターフェース制御回路8などからなる周知の構成の装置である。磁気ヘッド2の磁気ディスク1に対する相対位置は、アクチュエータ4とボイスコイルモータ5により制御する。記録再生回路6は、磁気ヘッド2に対して記録信号の制御と再生信号の検出、増幅などの作用をする。位置決め回路7は、磁気ヘッドによる記録再生するトラック位置を制御するための回路、インターフェース回路8は前記再生回路、位置決め回路などと計算機本体とを結合するための回路である。

【0022】磁気ディスク1は、ガラス基板、Si基板、NiP被覆アルミニウム基板、カーボン基板などの円盤状の基板上に磁性膜の結晶配向性などの構造制御用の下地層を形成し、その上に磁性膜及び保護膜を形成し、保護膜上に潤滑膜を被覆してなる磁気記録媒体である。磁性膜は、Coを主成分とし、これにCr、Fe、Mo、V、Ta、Pt、B、Ir、W、Hf、Nb、Ru、Ni及び希土類元素の中から選ばれた少なくとも1種類の元素を含む材料からなる六方稠密構造を基本構造とし、磁性膜の磁化容易軸を基板面に垂直方向に配向させる。磁性膜の磁化容易軸を基板面に垂直に高配向し、かつ垂直磁気異方性の分散の小さい垂直記録媒体を得るために、磁性膜の構造制御用下地層を基板と磁性膜の間に設ける。構造制御用の下地層としては、非磁性もしくは常磁性のCoCr合金やTi、TiCr合金あるいはこれらにPt、Ru、Ta、Mo、Pd、V、Nb、Zrなどを添加したhcp構造の多結晶膜、微結晶膜もしくは非晶質状下地層膜やSi、Geなどの非晶質状下地層を用いる。

【0023】磁気ヘッド2は、スライダ上に設けられた磁気記録用リング型ヘッドの磁極及び記録信号再生用の磁気抵抗効果型、巨大磁気抵抗効果型もしくはスピンバルブ型素子あるいは磁気トンネル型素子で構成される。記録信号再生用の磁気ヘッドのギャップ長は、高分解能の再生信号を得るために0.25μm以下、望ましくは0.1～0.2μmとする。磁気記録時のトラック端部の記録磁区の乱れを低下するために、記録用ヘッドのトレーリング側、リーディング側磁極のトラック両端部は揃っていることが望ましく、また急峻な記録磁界の発生のために記録ヘッドのギャップ長は0.25μm以下、望ましくは0.1～0.2μmとする。再生用ヘッドのトラック幅を記録用ヘッド磁極のトラック幅より狭くすると、記録トラック両端部から生じる再生ノイズの低減に有効である。磁気ヘッド2はサスペンション3によって支持され、かつ磁気ヘッドが磁気ディスクの内周

側から外周側に向かって移動したときに生ずるヨー角を補正する機能が設けてある。

【0024】図2に示した略断面図により、本発明による垂直磁気記録媒体について更に詳細に説明する。図2(a)は2層の下地層を有する垂直磁気記録媒体の略断面図、図2(b)は1層の下地層を有する比較用の垂直磁気記録媒体の略断面図である。基板としては、Si基板、ガラス基板、NiP被膜Al基板、カーボン基板、あるいは高分子基板などを用いることができるが、ここでは、基板11として表面に熱酸化Si膜を形成した円盤状のSiディスクを用いた例により説明する。本実施の形態では、超高真空DCマグネトロンスパッタリング装置により媒体を作製した。洗浄した基板11をスパッタリング装置に設置し、続いて基板11を約230℃に加熱して、磁性膜の結晶粒径や磁気異方性の制御を行うための下地層12(13)を形成した。下地層は、この上に形成する磁性膜14の種類により任意に選ぶことができ、また下地層は、同一材料もしくは異種の材料からなる層を1層以上積層して形成することができる。

【0025】磁性膜14としては、hcp構造、体心立方格子構造、面心立方格子構造、あるいは斜方晶構造の材料を用いることができる。例えば、磁性膜としてCoを主成分とするhcp構造の材料を用いる場合、下地層12(13)は最も一般的にはTi、Co、などのhcp構造の材料を主成分とし、これにCr、V、W、Ta、Ru、Hfなどを添加した材料からなる多結晶膜や微結晶膜または非晶質膜、あるいはSi、Ge、Ta、Hfを始めとする非晶質膜を選択することができる。この下地層上に引き続き同一真空中で記録膜となる磁性膜14、保護膜15を順次形成した。

【0026】以下のようにして、図2(a)に略示したように2層の下地層を有する垂直磁気記録媒体A、B、C、D、E、Fを作製した。媒体A、B、C、D、E、Fにおける薄膜はいずれもArガス圧2mTorr、超高真空DCマグネトロンスパッタリング法により作製した。いずれの媒体も、第1下地層12の膜厚は30nm、第2下地層13の膜厚は20nm、磁性膜14の膜厚は30nm、保護膜15の膜厚は5nmとした。

【0027】第1下地層12は、その上に形成する第2下地層の核生成を制御し、薄膜のエピタキシャル成長を促進する効果があり、ここではTi-10at%Cr合金膜を用いた例により説明する。第2下地層13は、その上に形成する磁性膜14のエピタキシャル成長を促進する効果があり、Ti、Coなどの材料を主成分とし、これにCr、V、W、Ta、Ru、Hfなどを添加した材料からなる非磁性あるいは常磁性合金からなる薄膜を用いる。磁性膜14は、Coを主成分とし、これにCr、Fe、Mo、V、Ta、Pt、Si、B、Ir、W、Hf、Nb、Ru、Ni及び希土類元素の中から選

ばれる少なくとも1種類の元素を含んだ材料を用いる。保護膜15には、カーボン、ダイヤモンド状カーボン、あるいはSi、Ta、Ti、Hfなどのカーバイド膜あるいは窒化膜を用いることができるが、ここではカーボンを用いた例で説明する。また、ここでは磁性膜を基板片面側に形成した例で説明するが、基板両面に形成してもよいことは言うまでもない。

【0028】媒体Aは、第1下地層としてTi-10at%Cr合金膜を用い、第2下地層としてCo-35at%Cr-2at%Ta合金薄膜からなるhcp構造薄膜を用いた。磁性膜14としては、Co-19at%Cr-10at%Pt合金を用いた。保護膜15にはカーボンを用いた。媒体Bは、第1下地層12、第2下地層13及び保護膜15は媒体Aと同じ材料構成とし、磁性膜14としてCo-17at%Cr-10at%Pt-4at%Ta合金を用いた。

【0029】媒体Cは、第1下地層12、第2下地層13及び保護膜15は媒体Aと同じ材料構成とし、磁性膜14としてCo-15at%Cr-4at%Ta合金を用いた。媒体Dは、第1下地層12及び保護膜15は媒体Aと同じ材料構成とした。第2下地層13としてCo-35at%Cr合金からなる非磁性合金を用い、磁性膜14としてCo-19at%Cr-10at%Pt合金を用いた。

【0030】媒体Eは、第1下地層12、第2下地層13及び保護膜15は媒体Dと同じ材料構成とし、磁性膜14としてCo-17at%Cr-10at%Pt-4at%Ta合金を用いた。媒体Fは、第1下地層12、第2下地層13及び保護膜15は媒体Dと同じ材料構成とし、磁性膜14としてCo-15at%Cr-4at%Ta合金を用いた。

【0031】媒体A、B、C、D、E、Fにおける下地層表面及び磁性膜表面を原子間力顕微鏡(AFM)で観察したと結果、表面の起伏の振幅及び起伏の周期はいずれも10nm以下の平坦な薄膜であった。また、媒体A、B、C、D、E、Fにおける磁性膜はhcp構造を有し、その成長方位は<002>方位が基板面に垂直に配向し、いずれも下地層界面からエピタキシャル的に成長した薄膜であることがX線回折法及び電子顕微鏡観察により確認された。

【0032】磁性膜14への非磁性CrやTaなどの添加により磁性結晶粒の粒界や粒内に非磁性層や弱磁性層を局所的に偏析させることができ、磁性粒子の磁気的孤立性を向上する効果が電子顕微鏡を用いた組成分析などで確認されている。Ptの添加により磁性膜の磁気異方性を向上できる。下地層を多層に積層した構造にすることにより、この上に形成する磁性膜14の結晶成長を促進する効果があり、結果的に磁性結晶粒径の均一化、磁気異方性の向上、不規則磁区径の微細化などにより、媒体ノイズを低減できる。また、媒体A、B、Cのごと

く、第2下地層13を3元以上に多元化することにより、媒体D、E、Fに比べて磁性結晶粒径を10~20%程度微細化することができ、その結果不規則磁区の大きさも低減できる。

【0033】次に、以下のようにして、図2(b)に示すように1層の下地層を有する垂直磁気記録媒体G、H、Iを作製した。媒体G、H、Iにおける薄膜はいずれもArガス圧2mTorr、超高真空DCマグネトロンスパッタリング法により作製した。いずれの媒体も、下地層12の膜厚は30nm、磁性膜14の膜厚は30nm、保護膜15の膜厚は5nmとした。保護膜15にはカーボンを用いた。

【0034】媒体Gは、基板11上に膜厚30nmのhcp構造のTi-10at%Cr合金膜からなる微結晶性の第1下地層12を形成し、この第1下地層の上に直接膜厚30nmの磁性膜14を形成し、その上に膜厚5nmの保護膜15を形成した。磁性膜14にはCo-19at%Cr-10at%Pt合金を用いた。媒体Hは、基板11上に膜厚30nmのhcp構造のTi-10at%Cr合金膜からなる微結晶性の第1下地層12を形成し、この上に膜厚30nmの磁性膜14及び膜厚5nmの保護膜15を形成した。磁性膜14には、Co-17at%Cr-10at%Pt-4at%Ta合金を用いた。

【0035】媒体Iは、基板11上に膜厚30nmのhcp構造のTi-10at%Cr合金膜からなる微結晶性の第1下地層12を形成し、この上に膜厚30nmの磁性膜14、及び膜厚5nmの保護膜15を形成した。磁性膜14には、Co-15at%Cr-4at%Ta合金を用いた。媒体G、H、Iの磁性膜14は、いずれもhcp構造を有し、その成長方位は<002>方位が基板面にほぼ垂直に配向し、いずれも下地層表面からほぼエピタキシャル的に成長した薄膜であることがX線回折法及び電子顕微鏡観察により確認された。しかし、下層界面の初期成長層には、若干結晶配向の乱れた領域も観察された。媒体G、H、Iの下地層表面及び磁性膜表

面を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した結果、表面の起伏の振幅及び起伏の周期はいずれも10~50nmの範囲であった。

【0036】上記媒体A~Iの磁気特性を振動試料型磁力計(VSM)で測定した。磁性膜の垂直磁気異方性 K_u を求めるにあたり、各々の試料につき磁気トルク曲線を測定し、この単位体積当たりの磁気トルク曲線をフーリエ解析して、次の近似式【数1】【数2】により表される結晶磁気異方性エネルギーE、トルクLの関係から磁性膜の膜面垂直方向の一軸磁気異方性定数 K_{u1} 、 K_{u2} を求めた。ここで、 K_{u1} 、 K_{u2} 、 K_u ：一軸異方性定数、 θ ：自発磁化と磁性膜の容易軸とのなす角、 M_s ：飽和磁化である。

【0037】

【数1】

$$E \approx K_{u1} \sin^2 \theta + K_{u2} \sin^4 \theta + K_u \sin^6 \theta$$

【0038】

$$\text{【数2】 } L = -(K_{u1} + K_{u2} - 2\pi M_s^2) \sin 2\theta + (K_{u2} \sin 4\theta) / 2$$

【0039】また K_{u1} 、 K_{u2} の値を更に正確に求めるために、磁気トルク曲線の測定に際して磁性膜に印加する外部磁界Hの大きさを15~5kOeの範囲で変化させて測定し、各々の印加磁界Hの元で測定された一軸磁気異方性定数 K_{u1} 、 K_{u2} の値と印加磁界の逆数(1/H)の関係性を求めた。すなわち、 K_{u1} 、 K_{u2} の値が1/Hの関係を示すプロットにおいて、1/H=0に外挿して得られた値を、各々の磁性膜の K_{u1} 、 K_{u2} の値と定義した。また、膜面垂直方向の磁気異方性 K_u は、 $K_u = K_{u1} + K_{u2}$ で定義し、近似した。

【0040】表1に、上記垂直磁気記録媒体A~Iの特性を比較して示す。表1において、 $\Delta\theta_{002}$ は磁性膜の結晶配向を示す指標であり、<002>X線回折のロッキング曲線の半値幅である。また、 M_s は飽和磁化、 M_r は残留磁化、 H_c は膜面垂直方向の保磁力である。

【0041】

【表1】

	媒体 A	媒体 B	媒体 C	媒体 D	媒体 E	媒体 F	媒体 G	媒体 H	媒体 I
第 1 下地層	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr	Ti-10at%Cr
第 2 下地層	Co-35at%Cr -2at%Ta	Co-35at%Cr -2at%Ta	Co-35at%Cr -2at%Ta	Co-35at%Cr	Co-35at%Cr	Co-35at%Cr	—	—	—
磁性膜	Co-19at%Cr -10at%Pt	Co-17at%Cr -10at%Pt-4at%Ta	Co-15at%Cr -4at%Ta	Co-10at%Cr -10at%Pt	Co-17at%Cr -10at%Pt-4at%Ta	Co-15at%Cr -4at%Ta	Co-10at%Cr -10at%Pt	Co-17at%Cr -10at%Pt-4at%Ta	Co-15at%Cr -4at%Ta
$\Delta \theta_{50}$ (deg.)	2.3	2.3	3.2	2.4	2.4	3.4	4.1	4.2	4.8
Mu (emu/cc)	460	480	450	460	480	450	450	460	440
He (Oe)	2500	2300	1900	2300	2210	1850	2050	2080	1700
Mr/Ms	0.96	0.93	0.85	0.95	0.92	0.83	0.90	0.85	0.73
Ku (= Ku1 + Ku2) (erg/cc)	3.1×10^6	2.9×10^6	1.7×10^6	2.6×10^6	2.4×10^6	1.5×10^6	1.8×10^6	1.5×10^6	1.3×10^6
不規則磁区の平均径 (nm)	25	20	30	55	50	50	150	120	85
不規則磁区の平均 面積 (μm^2)	4.91×10^{-4}	3.14×10^{-4}	7.07×10^{-4}	2.38×10^{-3}	1.96×10^{-3}	1.96×10^{-3}	1.77×10^{-2}	1.13×10^{-2}	5.67×10^{-3}
媒体ノイズ N/S0 ($\mu\text{Vrms}/\mu\text{Vpp}$)	0.008	0.006	0.009	0.015	0.012	0.013	0.07	0.06	0.04

【0042】磁気記録にはリング型磁気ヘッド（トラック幅 $2\mu\text{m}$ 、ギャップ長 $0.2\mu\text{m}$ ）を使用し、再生には磁気抵抗効果型ヘッド（MRヘッド、ギャップ長 $0.2\mu\text{m}$ ）を使用し、記録再生時の磁気スペーシング（媒体磁性膜の表面と磁気ヘッドの磁極間の距離） 30nm として、媒体の記録再生特性を測定した。表1において、媒体ノイズ N/S_0 は、線記録密度 250kFCI で測定したノイズを低線記録密度（ 5kFCI ）にお

る再生信号出力で規格化した値で表示した。

【0043】磁気記録した試料及び残留磁化状態の磁化状態を観察し、媒体ノイズ発生の原因となる不規則磁区の構造、及び大きさを評価した。ここでは磁気力顕微鏡（MFM: Magnetic Force Microscope）観察により評価したが、その他の観察手段、例えば垂直磁気記録媒体表面のスピンの向きを検出する手段、もしくは偏光角の大きさを検出する手段、あるいは垂直磁気記録媒体表面

の漏洩磁界の強度もしくは漏洩磁界の勾配を検出する手段、垂直磁気記録媒体表面に磁性微粒子を付着せしめて評価する手段などを用いても評価することができる。

【0044】表1において、不規則磁区の面積及び直径は図3、図4から求めた値である。図3は、媒体Aと媒体Gの磁化状態を比較して示したもので、図3(a)は媒体Aの磁化状態を示す磁気力顕微鏡像、図3(b)は媒体Gの磁化状態を示す磁気力顕微鏡像である。図中、白い領域21は着磁方向の磁化を有する領域、一方、黒い領域22は前記の着磁方向と逆向きの磁化もしくは前記の磁化方向に対して傾斜した磁化を有する磁化領域を有する不規則磁区を表している。これら不規則磁区の大きさが小さい程、また単位面積当たりの不規則磁区の割合が小さい程、磁気ヘッドによる再生ノイズを低減することができる。図3のごとく、上記の各々の媒体の磁化状態を観察し、媒体に形成された個々の不規則磁区の大きさ(面積)を測定した。さらに前記の不規則磁区と同じ面積を有する円に近似することにより、不規則磁区の直径を評価した。

【0045】図4は、磁化状態を図3のごとく観察して得られた各媒体A~Iの不規則磁区の大きさ(面積、直径)と不規則磁区の積算強度比の関係を示す。図4において、積算強度比は小さな不規則磁区から大きな不規則磁区に向かって不規則磁区的面積を順次積算し、全不規則磁区の大きさ(面積、または直径)の積算値に対する割合で示した。積算強度比50%が各々の媒体における不規則磁区の平均値である。

【0046】表1には、図4の結果をもとに測定した不規則磁区の平均面積と平均直径も示した。表1、図3、図4の比較から明らかなように、不規則磁区の平均面積、あるいは不規則磁区の平均直径が小さい程、媒体ノイズを低減できることが明らかである。特に、不規則磁区の平均面積を $7.1 \times 10^{-4} (\mu\text{m}^2)$ 以下、もしくは不規則磁区の平均直径を30nm以下にすることにより、10Gb/in²以上の超高密度磁気記録を実現するのに要求される0.01($\mu\text{Vrms}/\mu\text{V}_{\text{ref}}$)以下の低ノイズ媒体を得ることができる。

【0047】通常、磁気ヘッドは媒体表面から20~60nm離れた領域を走行して使用され、媒体表面から発生した漏洩磁界を検出し、再生信号とする。この場合、媒体表面の磁区が大きいほど媒体面からより遠くまで漏洩磁界が分布するため磁気ヘッドでの検出効率が高くなる。すなわち、小さな磁区は、大きな磁区に比べて磁気ヘッドで再生する際のスペーシングロスが大きく、検出されにくい。従って、媒体表面に形成される不規則磁区を小さくすることにより、磁気ヘッドで信号検出するときの媒体ノイズを小さくできる。

【0048】媒体A~Iの磁性結晶粒を透過電子顕微鏡及び原子間力顕微鏡により観察し、磁性結晶の平均粒径と不規則磁区の平均径を比較した。その結果、媒体A、

B、Cでは不規則磁区の平均径は磁性結晶の平均粒径の1~1.8倍、媒体D、E、Fでは1~3倍、比較用媒体G、H、Iでは、1.2~10倍であった。また、 M_r/M_s の比を0.8以上とすることにより、磁気記録した磁化を長時間安定に保持することが可能となり、特に垂直磁気記録で反磁界効果が高く最も過酷な条件、残留磁化状態(または直流消去状態)もしくは低記録密度(例えば5kFCI)でも、記録直後(記録から1秒後)を基準とした1年後の再生出力の減衰率を20%以下の小さな値に押さえることが可能であった。

【0049】図5は、図4の結果をもとに、媒体ノイズと不規則磁区の直径及び面積の関係を比較したものである。この図には、図4において不規則磁区の積算強度比が5~95%の範囲に含まれる不規則磁区直径の分布と不規則磁区面積の分布も併せて示した。この図から明らかなように、不規則磁区の大きさ(平均直径、平均面積)を小さくすると、また不規則磁区の直径と面積の分布幅を小さくすると、媒体ノイズを低減する効果が大きいことがわかる。特に、不規則磁区的面積を $7.8 \times 10^{-4} \sim 2.8 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$ 、不規則磁区の直径を10~60nmの範囲にすることにより媒体ノイズ低減の効果が向上する。不規則磁区の大きさの分布における下限値は磁性粒子の粒径に依存する。そして、磁性粒子の粒径があまり小さくなると熱揺らぎによって記録の安定性が低下するため、不規則磁区の直径も10nmより小さくならないことが望ましい。

【0050】以上詳述したように、媒体表面における不規則磁区の微細化を図ることにより、磁気記録したときの記録ビット内部、あるいは磁化遷移の揺らぎ振幅を小さくでき、その結果、媒体ノイズを低減し、記録分解能の高い超高密度磁気記録を実現することができる。

【0051】

【発明の効果】本発明によると、媒体ノイズの原因となる記録磁区の磁化遷移の揺らぎ構造が小さく、かつ不規則磁区を微細化した、再生信号の高S/N特性を有する超高面記録密度の磁気記録に好適な垂直磁気記録媒体及び磁気記憶装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による磁気記憶装置の一例の主要部を示す模式図。

【図2】(a)は2層の下地層を有する垂直磁気記録媒体の略断面図、(b)は1層の下地層を有する比較用の垂直磁気記録媒体の略断面図。

【図3】(a)は媒体Aの磁化状態を示す磁気力顕微鏡像、(b)は媒体Gの磁化状態を示す磁気力顕微鏡像。

【図4】不規則磁区の大きさ(面積、直径)と不規則磁区の積算強度比の関係を示す図。

【図5】媒体ノイズと不規則磁区の直径及び面積の関係を比較図。

【図6】垂直磁気記録した媒体の磁化状態を示す断面模

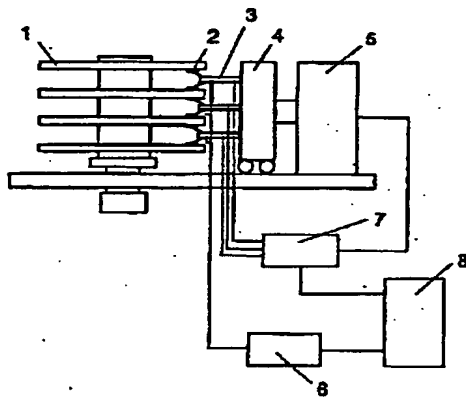
式図とそれを磁気抵抗効果型ヘッドで再生した再生信号波形の模式図。

【符号の説明】

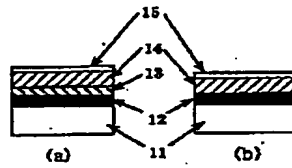
1…磁気ディスク、2…磁気ヘッド、3…サスペンション、4…アクチュエータ、5…ボイスコイルモータ、6*

*…記録再生回路、7…位置決め回路、8…インターフェース制御回路、11…基板、12…第1下地層、13…第2下地層、14…磁性膜、15…保護膜、21…着磁方向の磁化、22…不規則磁区。

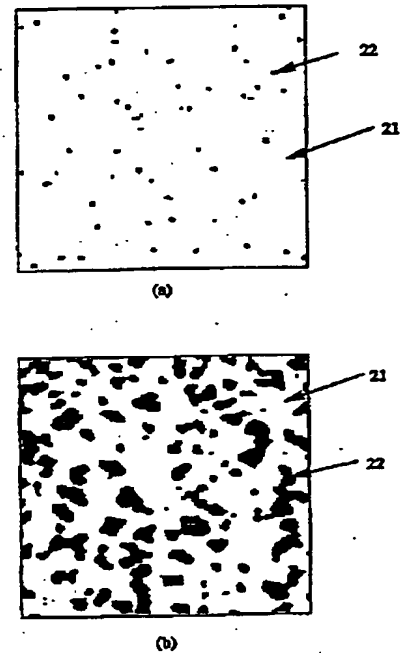
【図1】



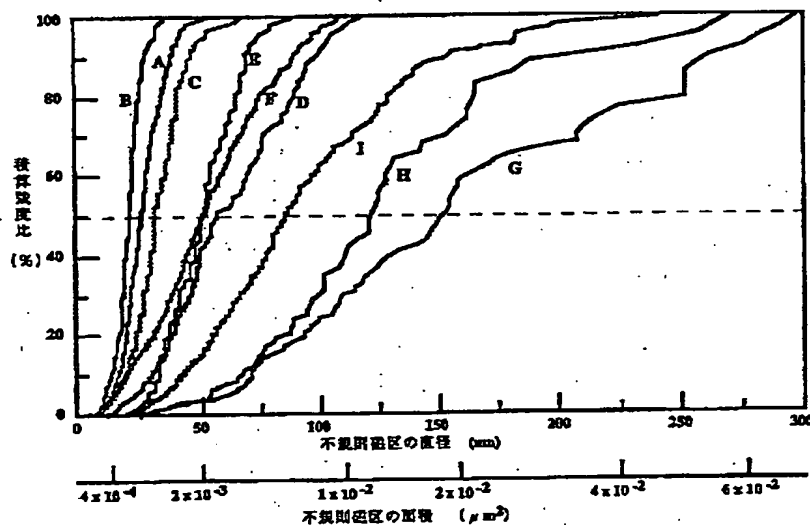
【図2】



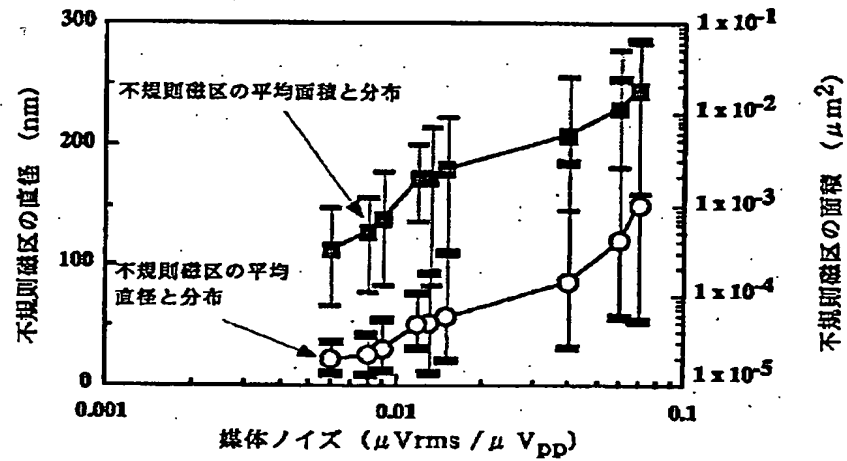
【図3】



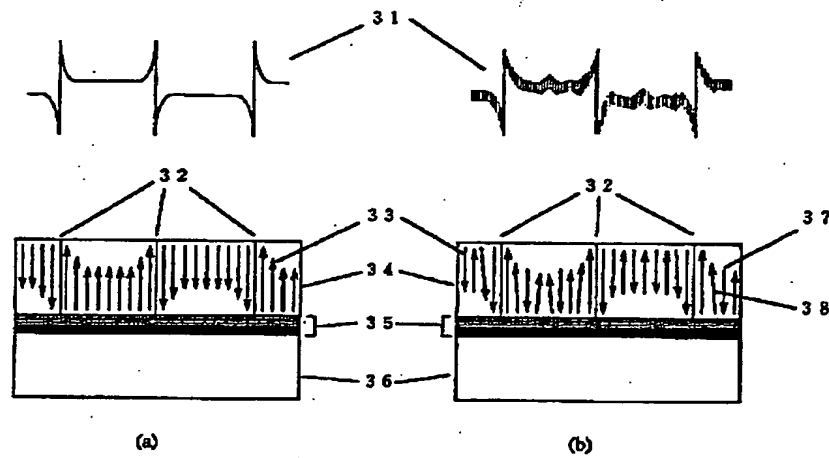
【図4】



【図5】



【図6】



31:再生信号波形、32:記録磁区境界、33:磁化、34:記録頭、
35:下地層、36:基板、37:遷移区、38:傾斜した磁化

フロントページの続き

(72)発明者 二本 正昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内